ブナ・イヌブナ天然林の高等菌類と土壌微生物相

小川　眞[(1)]・山家義人[(2)]・石塚和裕[(3)]

Makoto OGAWA, Yoshito YAMBE and Kazuhiro ISHIZUKA :
Fungal and Soil Microbial Florae in the Natural Stand of *Fagus crenata* and *F. japonica*

要　旨：栃木県矢板市のブナ・イヌブナ天然林において高等菌類と土壌微生物相および堆積腐植の分解について調査を行った。堆積腐植の分布状態は林床植生の分布や微地形に左右され，ヒノキ林[15]にくらべて不均一であった。ブナの落葉分解は順調で，その分解型は落葉広葉樹林に一般的なパターンを示した。落葉分解過程にはカヤタケや *Collybia* 属など大形のシロをつくる帽菌類による白色腐朽が顕著に認められた。林分全面にわたって白色腐朽による分解が優占しており，褐色腐朽を主とするヒノキ林とは対照的であった。ブナやイヌブナの細根の分布は A_0 層の分布に左右され，F 層に生息する菌根菌が多いために菌根量は A_0 層と HA 層に多かった。168 m^2 のコードラート内に発生した高等菌類は 44 種，うち腐生菌 23 種，菌根菌 21 種であった。落葉分解菌は *Mycena* と *Clitocybe* 属が，菌根菌は *Cortinarius* 属と *Russula* 属が優占した。土壌微生物の表層土壌における水平分布は糸状菌を除いてほぼ一様となった。A_0 層については落葉分解の進行にともなって細菌と糸状菌が交替し，放線菌には顕著な動きがなかった。A_0 層から鉱質土層へかけて細菌と放線菌は連続的な動きを，糸状菌は不連続な分布を示した。表層土壌の微生物の機能についてみると，セルロースや澱粉，糖などを利用する微生物が HA 層で増加した。有機態窒素は主として細菌によって分解され，A_0 層から HA 層にかけてアンモニア化成がすすみ，HA 層と A_1 層で硝酸化成が進むものと思われた。ヒノキ林にくらべて硝酸化成作用は低いようであった。根圏土壌の微生物群の動きは A_1 層土壌のものにくらべてはげしく，季節による変化も大きかった。ブナ・イヌブナ林の高等菌類相と土壌微生物相は同一地域にあるヒノキ林のものと全く異なっており，広葉樹伐採後にヒノキが造林された場合の土壌生態系の変化はかなり大きいものと考えられる。

関東，東北地方の山岳地帯における広葉樹天然林の代表的なものとしてブナ・イヌブナ林をとりあげ，そこにおける高等菌類相と土壌微生物相および堆積腐植の分解過程を調査した。この調査研究は「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」の一環として栃木県矢板市，釈迦ケ岳国有林において実施した生態系調査の一部である。同一地域のヒノキ人工林における調査研究の成果は先に報告した[15]。また，この調査林分に隣接する地点で行われたブナ林の物質生産や循環に関する調査結果は河原ら[4]によって報告されている。調査林分の植生や土壌および土壌動物相などについては，農林水産技術会議事務局編，別枠研究試験成績書（第1集）[7]の中におさめられている。

ブナ林での落葉分解や微生物相に関する研究は比較的多く，わが国でも斎藤[13)14]による落葉分解過程に関する研究がなされており，落葉分解にともなう微生物群の遷移などがよく知られている。近年では石塚[8]によって詳細な検討がなされ，落葉分解の季節的な動きや担子菌類の役割なども知られるようになった。土壌微生物相，とくに糸状菌相については大政ら[12]の調査研究がある。ヨーロッパではブナ属植物の森林における落葉分解[1)2]や土壌微生物相[5]，菌根[6]などに関する報告も多い。しかし，同一地点での落葉分解過程や根と菌根の分布，高等菌類相，土壌微生物相などを相互に関連づけて研究した例はほとんどない。この調査の目的は土壌微生物や菌類などの生物相とその基質となる落葉や根の分布状態を比較的狭い

1980年12月2日受理

(1) (2) (3)　土じょう部

範囲内で総括的にとらえることであった。また，同一地域内において天然林の伐採跡地に造林されたヒノキ人工林の土壌微生物相と比較を試みることも主要な目的の一つであった。

この調査の実施にあたって便宜を与えられたプロジェクト　リーダー，林業試験場長　松井光瑤博士，協同研究者である松本久二氏，堀田　庸氏など林業試験場土じょう部の各位に感謝する。また，この報告のとりまとめにあたって有益な助言を与えられた土じょう部長　河田　弘博士，土じょう肥料科長　原田洸博士に感謝する。

調査林分の概況

調査対象としたブナ・イヌブナ林は栃木県高原山南東面の釈迦ケ岳国有林にあり，標高約700mに位置する。調査林分は渓流に面した棚状地形の緩斜面にあり，ところどころに安山岩が露出する。土壌は火山灰を母材とするB_D型土壌で，A_0層は厚く，HA層が見られ，腐植にとむA_1層とA_2層は暗褐色でよく発達している。石礫はなく，比較的湿潤である。土性は壌土，A_1層のpHは4.5，B層では5.3であった（Photo. H）。

高木層はブナとイヌブナからなり，斜面の上部ではブナが，下部ではイヌブナが優占した。他の樹種は少なく，アカシデとカエデ類が点在する程度であった。斜面下部の林床は短桿のミヤコザサとヒカゲスゲにおおわれており，コードラートを設定した場所ではFig. 3のようにミヤコザサとヒカゲスゲがモザイク状に分布していた。斜面上部ではミヤコザサがなくなり，広葉の草本植物が優占した。

ブナとイヌブナの樹高は18〜20m，胸高直径は50〜60cmあり，立木密度は約800本/haであった。他のかん木の立木密度は270本/haであった（Photo. G）。この林分内にはところどころにブナの倒木があり，落下した枯枝も多かった。またイヌブナが株状に生育しており，その中心には古い伐根があったものと思われる。過去にはブナやイヌブナの抜き伐りが行われていたものと思われる。

調　査　方　法

調査方法については前報[15]に記述したので，ここでは前報と異なる場合についてのみ記述する。

1）堆積腐植（A_0層）と根および菌根の量と分布

調査林分内の斜面下部に20×20mのコードラートを設け，その中を2m方形の小区画に区切った。

A_0層の厚さを小区画の1mごとの交点で測定し，厚さ5cm以上，3〜5cm，1〜3cmに区分して平面図に記入し，その分布状態を図に描いた。

落葉や粗腐植などの堆積腐植は50×50cmの方形枠を用いて，L層，F層など層別に採取した。鉱質土層の最表層，HA層については深さ5cmまでを採取した。L，F層については根を除いた後，1週間風乾し，60°Cに1週間以上おいて重量測定を行った。HA層については根を除き，さらにフルイ上で水洗して土壌を除き，混合している粗腐植をとり出した。この粗腐植を2週間風乾した後，60°Cに1週間以上おいて乾燥し，重量測定を行った。

F層に含まれていた根と菌根については分解した落葉などを手でほぐしながら取り出し，HA層のものは粗腐植を洗い出す際に水道水で静かに洗いながらとり出した。菌根は樹皮の形成された太い根から水中でとりはずし，別に測定した。根と菌根は60°Cで2週間以上乾燥した後，重量測定を行った。

2） 堆積腐植の分解型

新鮮落葉や粗腐植は 50×50 cm 方形枠で層別に採取し，上述のように風乾した後，5，10，20，32 メッシュのフルイでフルイ分けした。以後の処理方法は前報[15]に同じである。

3） 高等菌類相

1973年6月から11月にわたって，6月と10月には月2回，他の月は月1回，高等菌類の発生位置とその量および生態的性質に関する調査を行った。コードラート内に発生した菌類はその発生位置を図上に記録した。採取した子実体は種名の同定を行い，本数を数えた後，45°C に1か月おいて乾燥し，重量を測定した。土壌中の菌糸層についてはその形状と分布範囲を記録し，標本を採取した。子実体発生位置の調査が一応終了した1973年11月には新鮮落葉を除いて主要な菌の菌糸層の確認を行った。

菌類の各の性質についてはその菌糸層や菌糸束が分布している位置を確認し，菌糸と基質の結び付きを調べた。その結果，菌根を形成するものを菌根菌，M とし，落葉や枝，材などを分解するものを腐生菌，S として表示した。主に F 層に菌糸層があって，菌根を形成する腐生的性質をもつ菌根菌を SM として表示した。

なお，高等菌類の発生位置の確認は 20×20 m のコードラート内の斜面下方の部分 168 m² 内で行った。精査は1973年に実施し，その後，1975年まで3か年菌類採集を行い，この林分の種組成に年による大きな変化がないことを確認した。

4） 土壌微生物相

土壌微生物の水平分布についてはコードラート内の小区画の中心点から 2 m 間隔で A_1 層の土壌を10点採取し，分離用試料とした。分離培養方法は前報[15]に同じである。

土壌微生物の垂直分布についてはコードラートに隣接する地点に設けた土壌断面から試料を採取した。分離培養方法は前報[15]に同じである。

粗腐植や腐植の混入が多い HA 層と腐植にとむ A_1 層において働きの異なる微生物群の分布状態を見るために各種の培地を用いた分離培養を試みた。その方法および試料採取方法は前報[15]に同じである。

5） ブナの根圏微生物相

試料採取，処理，分離培養法など実験方法は前報[15]と同じである。

調　査　結　果

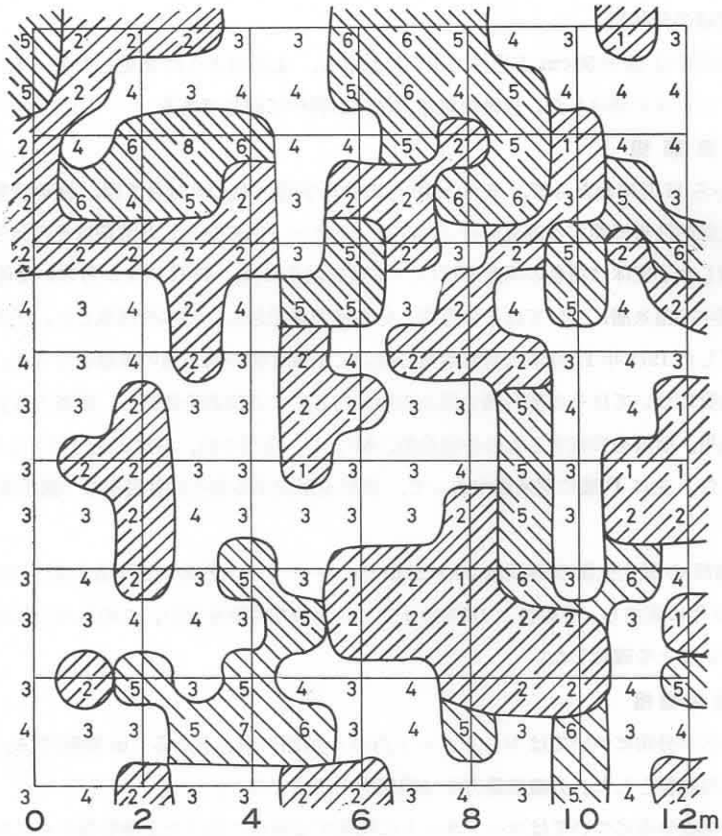
1） 堆積腐植（A_0 層）と根および菌根の量と分布

A_0 層の6月の分布状態を Fig. 1 に示す。6月には前年の落葉の分解が始まっており，A_0 層は比較的安定した状態にある。落葉の急激な分解は通常7，8月に進行する。

A_0 層の厚さはミヤコザサやヒカゲスゲなどの林床植物の分布状態によって変化し，植物の多いところではうすくなった。もっともうすい所で 1 cm，厚いところでは 8 cm であった。また微地形によってもかわりやすく，HA 層が露出する場所もあった。

50×50 cm の方形枠で採取した堆積腐植と細根の量を Table 1 に示す。ブナの枯枝は不均一に分布していたので，測定から除外した。

新鮮落葉の量は A_0 層の厚さがちがってもほとんどかわらず，140 g/2,500 cm² 前後と均一に分布していた。一方，F 層の粗腐植の量と HA 層に含まれる粗腐植の量は A_0 層の厚さに比例した。堆積腐植全



: more than 5 cm in thickness
: 3～5 cm in thickness
: 1～3 cm in thickness

Fig. 1　Distribution of litter in *Fagus crenata—Fagus japonica* forest. June, 1973.
The thickness of A_0 layer was measured every 1 m point.
Numbers in the figure indicate the thickness of litter, cm.

Table 1.　The amounts of litter and roots in *Fagus crenata—Fagus japonica* stand

Thickness of A_0 layer / Litter and roots	1～2 cm	3～4 cm	4～5 cm	Average
Fresh fallen leaves in L layer	130.7 g	146.1 g	139.2 g	138.6 g
Raw humus in F layer	77.7	130.6	158.7	122.3
Organic matter in HA horizon (depth 0～5 cm)	68.4	78.5	121.9	89.6
Total amount of litter	276.8	355.2	419.8	350.5
Roots in A_0 layer	1.2	7.3	12.5	7.0
Roots in HA horizon	41.6	37.2	31.9	36.9
Mycorrhizae in surface soil	6.3	8.6	9.2	8.0
Total amount of roots	49.1	53.1	53.6	51.9

Litter was collected from every layers by 50 × 50 cm square frame before litter fall in October, 1973. The roots were extracted from the sample of litter. The amounts of litter and roots, dry weight, g/2,500 cm².

体の重量は A_0 層の厚さに比例し，350.5g/2,500 cm² となった。

A_0 層に含まれる根の量は A_0 層の厚さに応じて変化し，とくに F 層の厚さに比例した。F 層の中のブナやイヌブナの細根の大部分は菌根であった。HA 層の中の根量は A_0 層の厚さに反比例し，A_0 層がうすいほどふえる傾向が見られた。A_0 層と HA 層とに含まれる根の量は A_0 層の厚さに関係なく，ほぼ一定となり，平均値は 51.9 g/2,500 cm² であった。この中には直径 0.5 cm 以上の太い根はほとんどなかった。

A_0 層と HA 層にあるブナとイヌブナの細根の先はほとんど菌根化しており，菌鞘におおわれていた。ただし，根の全量からみると，菌根の率は約 20% と低かった。

2）堆積腐植の分解型

落葉分解過程の質的な変化を Plate A から F に示す。この試料は落葉前の 10 月に採取したものである。したがって，Plate A と B に示す新鮮落葉は前年落葉した分解途上のものである。この中には小枝や球果も数多く含まれていた。ブナの小枝にはヤマンバノカミノケの根状菌糸束や枝の材腐朽菌が着生していた。B の断片葉の中には黄変した腐朽葉がかなり混入していた。これらの落葉はフルイで分画した場合には l に含まれる。

C に示したものは断片化した分解葉で f_1 に相当し，ここには枝や球果の断片も含まれた。D に示すものは F 層の下部にあって黄変ないしは黒変しており，根の断片も多かった。この部分は f_2 に相当した。E に示すものは f_2 の断片がさらに小さくなったもので，f_3 に相当した。葉肉の部分はほとんどなくなり，分解しにくい葉脈や枝，樹皮，球果，根などの断片と動物の糞が主であった。F に示すものは肉眼では元の形が判別できないほどに分解された細片で，HA 層に多く，水洗してとり出したものである。この画分は明褐色で，量は少なく，f_4 に相当した。

Fig. 2 には A_0 層の厚さ別に測定した落葉分解型の 6 月と 11 月の例を示す。6 月の新鮮落葉の l には褐色の葉や黄変葉が多く，全体の 60% を占めていた。F 層下部での分解が盛んになる前であるために f_1

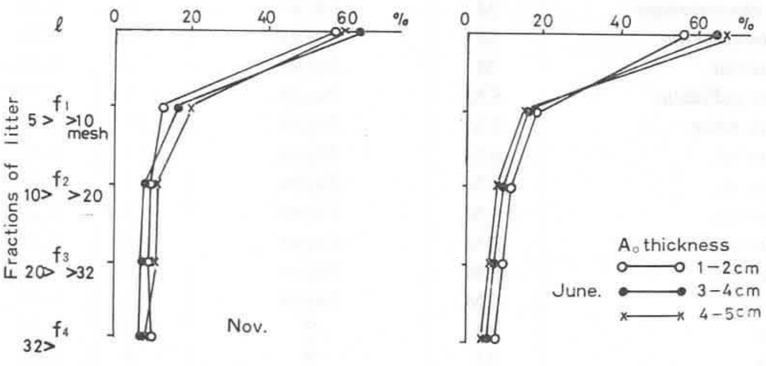


Fig. 2　Decomposition of litter in *Fagus crenata—Fagus japonica* forest.
Sampling : November, 1974 and June, 1974.
Litters on the forest floor were collected by 50×50 cm square frame. Decomposing leaves and others were divided into four fractions by sieving. The litters in HA and A_1 horizons was extracted on the sieves by washing. The litter decomposition patterns were shown by the percentages of each fraction per total weight.

Table 2. Ecological characters of higher fungi. Fruit bodies were from June through November in 1973

Species name	Function	Substrate or host	Number of fruit body	Dry weight (g)	Habitat
Mycena luteopallens	S	fruit of *Fagus*	335	0.95	A_0
Mycena pura	S	leaves	8	0.20	F
Mycena haematopus	S	wood	1	0.25	A_0
Mycena sp.	S	leaves	3	0.05	L
Mycena sp.	S	leaves	8	0.15	L
Mycena sp.	S	leaves	1	0.05	L
Hygrophorus leucophaeus	S	raw humus	5	0.08	F
Collybia sp.	S	raw humus	12	1.25	F
Collybia sp.	S	raw humus	7	0.40	F
Oudemansiella radicata	S	wood, root	1	0.15	A–B
Clitocybe infundibuliformis	S	leaves, raw humus	79	10.40	F
Clitocybe fragrans	S	leaves, raw humus	2	0.15	F
Lyophyllum sp.	S	raw humus	3	0.18	F
Rhodophyllus sp.	S	raw humus	8	0.85	F
Agaricus sp.	S	raw humus	1	0.15	F
Hydnum repandum var. *album*	S	raw humus	1	0.05	F
Corilus versicolor	S	wood	27	2.20	A_0
Polyporellus sp.	S	wood	8	0.85	A_0
Leotia lubrica	S	humus	14	0.40	HA
Leotia sp.	S	humus	1	0.05	HA
Peziza badia	S	humus	6	0.15	HA
Discomycetes	S	humus	1	0.05	HA
Lycoperdon gemmatum	S	wood, root	2	0.15	A
Laccaria laccata	SM	*Fagus*	17	0.45	HA
Russula emetica	M	*Fagus*	18	3.10	A
Russula densifolia	M	*Fagus*	2	1.55	A
Russula cyanoxantha	M	*Fagus*	1	0.40	HA
Russula sp.	M	*Fagus*	1	0.50	HA
Lactarius chrysorrheus	M	*Fagus*	3	0.20	HA
Amanita pantherina	M	*Fagus*	2	0.65	A–B
Amanita verna	M	*Fagus*	1	2.35	A–B
Cortinarius collinitus	SM	*Fagus*	1	0.10	F
Cortinarius salor	SM	*Fagus*	20	1.90	FH
Cortinarius sp.	SM	*Fagus*	1	0.15	F
Cortinarius sp.	SM	*Fagus*	1	0.15	F
Cortinarius sp.	SM	*Fagus*	1	0.10	FH
Cortinarius sp.	SM	*Fagus*	3	0.70	FH
Cortinarius sp.	SM	*Fagus*	2	0.35	FH
Leccinum sp.	SM	*Fagus*	1	1.00	FH
Inocybe sp.	M	?	2	0.05	A
Inocybe sp.	M	?	3	0.05	A
Inocybe sp.	M	?	2	0.05	A
Inocybe sp.	M	?	2	0.05	A
Inocybe sp.	M	?	3	0.15	A
Cantharellus sp.	M	*Fagus*	5	0.05	A

Total species number : 44. Saprophyte, S : 23 species. Mycorrhizal fungi with saprophytic activity, SM
number of fruit bodies : 625. Total weight of fruit bodies : 33.06 g. Survey area : 168 m^2.
Habitat : soil horizons. colony : there was no formation of thick mycelial layer. mat : mycelial layer was
strand : it has no developed inner structures. rhizoid : root like structure connecting with the base of fruit

collected in *Fagus* forest

Mycelial structure in soil or substrate	Occurrence of fruit body
colony small	sporadical
mat larger	gregarious
colony larger	fasciculated
colony small	sporadical
colony small	sporadical
colony small	sporadical
mat, mycelial strand	gregarious
mat, mycelial strand	gregarious
mat, mycelial strand	gregarious
colony, rhizoid	solitary
mat larger	fairy ring or gregarious
mat larger	fairy ring or gregarious
mat small	gregarious
mat larger	gregarious
mat larger	gregarious
mat small	gregarious
colony larger	fasciculated
colony small	fasciculated
?	gregarious
?	gregarious
?	gregarious
?	gregarious
colony, rhizomorph	gregarious
mat, mycelial strand	gregarious
rhizomorph	sporadical
mat, rhizomorph	sporadical
rhizomorph	sporadical
rhizomorph	sporadical
colony, rhizomorph	gregarious
rhizomorph	sporadical
rhizomorph	sporadical
mat, mycelial strand	gregarious
mat, mycelial strand	gregarious
mat, mycelial strand	gregarious
mat small	solitary
mat larger	gregarious
mat larger	gregarious
?	gregarious
mycelial strand	sporadical
?	sporadical
?	sporadical
?	sporadical
?	sporadical
?	sporadical
colony small	gregarious

: 7 species. Mycorrhizal fungi, M : 14 species. Total

thick and the mycelium occupied a certain area. mycelial body. rhizomorph : it has the developed inner structure.

が多く，細片化した画分，f_2 から f_4 は順次減少していた。

落葉直後の 11 月にも新鮮落葉が約 60% を占めていたが，その内容は 6 月のものと異なり，落葉直後の褐色葉であった。11 月の f_1 は 6 月の l の分解が進んだものであり，6 月の f_1 にくらべてその占める割合はほとんどかわらなかった。f_2 以下の画分についても 6 月とほぼ同じ割合となった。

堆積腐植の分解型をみると，分解は順調に進行しており，A_0 層の厚さや季節によっても分解型がほとんどかわらないことがわかる。

3) 高等菌類相

168 m^2 の調査区域内に発生した高等菌類は Table 2 の通りであった。1973 年度のみの測定結果であるが，全種数は 44 種，うち子のう菌類が 4 種，担子菌類が 40 種であった。この担子菌類のほとんどがマツタケ目に属していたが，種数の多いのは，*Mycena*, *Collybia*, *Russula*, *Cortinarius*, *Inocybe* などの属であった。子のう菌類には小型の子実体を形成するものが多く，採集もれもしくは採集しなかったものがある。

子実体本数が多かったのはブナの実から発生するウスキブナノミタケ（*Mycena luteopallens*）で，335 本に達した。次いで落葉を白色腐朽するカヤタケ（*Clitocybe infundibuliformis*），木材腐朽菌のカワラタケ（*Corilus versicolor*），および腐朽材に出るホコリタケ（*Lycoperdon gemmatum*）が多かった。菌根菌の中ではキツネタケ（*Laccaria laccata*），ドクベニタケ（*Russula emetica*），ムラサキフウセンタケモドキ（*Cortinarius salor*）が多かった。

子実体の重量でみると，カヤタケ，カワラタケ，ドクベニタケ，シロタマゴテングタケ（*Amanita verna*），ムラサキフウセンタケモドキなどが多かった。

この林分の高等菌類相は子実体の本数と重量および菌糸層の占有する広さなどからみて，落葉分解菌は *Mycena* 属とカヤタケ，菌根菌はドクベニタケなどの *Russula* 属とムラサキフウセンタケモドキなどの *Cortinarius* 属によって代表された。したがって，この林分の高等菌類相は，*Mycena*, *Clitocybe*, *Russula*, *Cortinarius* 型といえる。

44種のうち腐生菌は23種，菌根菌は21種となり，その比率はほぼ1：1であった。腐生菌のうち落葉分解菌が13種，木材腐朽菌が5種，その他ブナの実や鉱質土層の中の有機物を分解するものが5種あった。菌根菌のうちでも A_0 層に生息し，腐生的な能力をもつと思われるものが7種あり，鉱質土層に生息して外生菌根を形成するものが14種であった。ただし，*Inocybe* 属については土壌中の生態が十分確認できなかった。

菌糸が主として広がる生息位置についてみると，材を分解するカワラタケや枝に着生する子のう菌，実につくウスキブナノミタケなどはもちろん A_0 層に生息する。しかし，木材腐朽菌の中でも埋れた材や枝，根株などを分解する，ツエタケ（*Oudemansiella radicata*）やホコリタケは鉱質土層に生息した。落葉分解菌については新鮮落葉を分解する *Mycena* などはL層に生息し，カヤタケや *Collybia* などのようにF層にシロを形成して落葉を白色腐朽するものはF層に，子のう菌類は各の生活型に応じて，L層やHA層に生息した。

菌根菌のうちで6種あった *Cortinarius* 属の菌はいずれもF層からHA層の表層にシロを形成し，発達の悪い菌糸束をつくり，樹枝状の菌根集団を作った。*Amanita* 属はA層からB層にかけて細い根状菌糸束をつくって広がり，樹枝状の小さな菌根をまばらに形成した。*Russula* や *Lactarius* 属は菌糸束や根状菌糸束を形成し，樹枝状の菌根をつくってHA層から，A_1 層に広がった。*Laccaria* 属，*Inocybe* 属は判別しにくい菌糸層をHA層から A_1 層につくり，菌鞘の発達しない棒状の菌根をまばらに形成した。

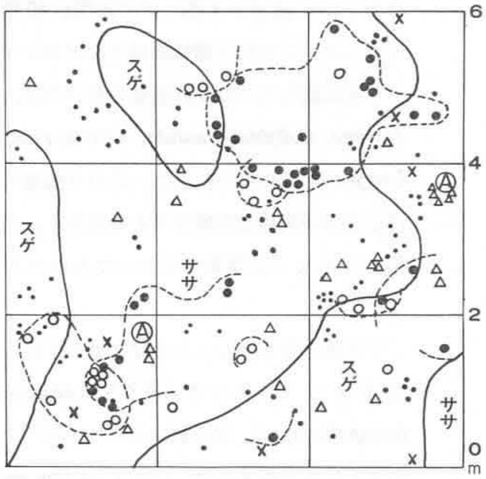


Fig. 3 Fruit body occurring positions and colonies of higher fungi. Fruit bodies of higher fungi were collected and recorded in 1973. Dotted lines show the colonies of major species. The fungal species and their ecological characters are shown in Table 2.

菌糸層や菌糸束の形態についてみると，菌糸のみからなる大型のシロをつくる菌は *Clitocybe* 属と *Collybia* 属以外にはなかった。ほとんどの種が菌糸束や根状菌糸束を形成しており，菌根菌には根状菌糸束を形成するものが多かった。

この調査区域外で採集された主な高等菌類はタマチョレイタケ（*Polyporus tuberaster*），ヒメベニテングタケ（*Amanita rubrovolvata*），クチベニタケ（*Calostoma japonicum*），ツキヨタケ（*Lampteromyces japonicus*），キイロスッポンタ

ケ（*Phallus costatus*），ナラタケ（*Armillariella mellea*）などであった。

1973年から1975年にかけて梅雨季と秋に毎年数度調査をくりかえしたが，1973年の発生がもっとも良く，他の年にも種組成の大きな変化は見られなかった。

Fig. 3 に子実体発生位置図の一部を示す。子実体は林床植物の少ない所に多く発生する傾向があった。代表的な菌についてみると，時にフェアリーリングを描く，カヤタケが不定形のシロを3個形成し，小形のシロをつくる *Cortinarius* 属の数種がそれぞれ子実体を群生させていた。カヤタケと *Cortinarius* 属とはシロがいずれもF層に形成されるために競合していた。ブナの実につくウスキブナノミタケは実に特異的に発生するためにほとんどランダムに分布していたが，カヤタケのシロの中では少なかった。*Inocybe* 属とキツネタケも子実体が群生したが，明瞭なシロ形成は認められなかった。調査区域全体の菌の発生はまばらであった。

4）土壌微生物相

(1) 水平分布

Fig. 4 にコードラート内の土壌微生物の水平分布状態を示す。2 m 間隔の点で採取した A_1 層の土壌には見かけ上の変化はなく，含水率や pH にも採取地点による差はほとんどなかった。

糸状菌の菌数は10点の間で開きが大きく，多い場合は少ない場合の約10倍に達した。糸状菌の分布は不均一になっているといえる。一方，細菌と放線菌の菌数は細菌が2地点で多いのをのぞくと，各点でほぼ同数となった。細菌数がどの地点でも多く，放線菌数と逆転する現象は見られなかった。微生物の出現傾向は各点で同じであった。

(2) 垂直分布

土壌断面における土壌微生物の垂直分布状態を Fig. 5 に示す。A_0 層についてみると，細菌数は落葉後ほぼ1年たった褐色葉の1で多く，分解が進んだ断片葉の2から細片化した葉の3と分解が進むにつれて減少した。逆に糸状菌数は1に少なく，2，3となるにつれて多くなった。これらにくらべて，放線菌数の変化はほとんどなかった。新鮮落葉では細菌が多く，分解を進める糸状菌が腐朽葉で増加した。

A_0 層にくらべて HA 層では糸状菌数が2桁さがり，細菌数と放線菌数はともに1桁減少した。細菌は

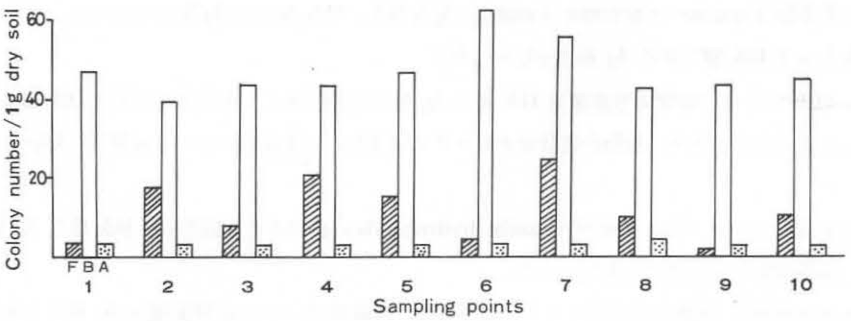


Fig. 4 Horizontal distribution of soil microorganisms in A_1 horizon of *Fagus crenata—Fagus japonica* forest. Oct. 1, 1973.
Soil samples were collected from 10 points with 2 m interval. Soil microorganisms were isolated by dilution plate method on the media; Glucose peptone plus rose bengal (GPA) and soil extract media.
F : Fungi, $\times 10^3$, B : Bacteria, $\times 10^5$, A : Actinomycetes, $\times 10^5$.

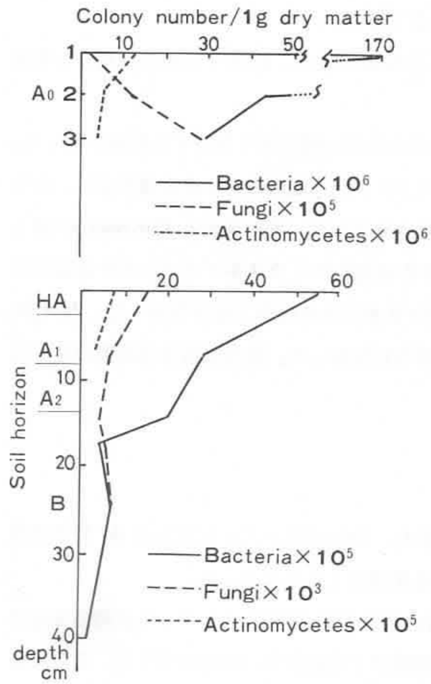


Fig. 5 Vertical distribution of soil microorganisms on the soil profile in *Fagus crenata—Fagus japonica* forest. Oct. 1, 1973. Soil samples were collected from each soil horizon, and microorganisms were isolated on the same media as described in Fig. 4.

鉱質土層の中でも根や腐植の多い HA，A_1 および A_2 層に比較的多く，B 層で急減した。放線菌は HA と A_1 層に現われ，A_2 層以下では分離されなかった。糸状菌は HA 層から B 層にいたるまでほとんどかわらず現われ，深さ 25 cm まで出現した。

(3) 表層土壌に生息する微生物の機能

HA 層と A_1 層に生息する微生物を培地をかえて分離すると，Fig. 6 に示すように出現する微生物数が大きく異なった。細菌の分離用としてよく用いられている土壌煎汁培地 (Soil extract) では，HA 層で細菌と放線菌がほぼ同数出現し，A_1 層では細菌数が HA 層とほとんどかわらなかったのにくらべて，放線菌が減少した。一方，糸状菌分離用のローズベンガル加用グルコース・ペプトン培地 (GPA) では糸状菌数が HA 層に多く，A_1 層で減少した。他の 8 種の培地で分離した際の菌数もこれらの一般的な培地で分離した際の菌数を大きく上まわることはなかった。

リグニン分解能を持った微生物が分離されるタンニン酸を含む培地 (Tannic acid) では HA 層で糸状菌，細菌，放線菌がともに出現したが，A_1 層では糸状菌，*Penicillium* sp. の 1 種だけとなった。

セルロース (Cellulose) を分解する細菌数は HA 層と A_1 層とでほとんどかわらなかったが，糸状菌と放線菌は減少した。このような動きは一般的な培地で分離した時の傾向ににていた。

デンプン (Starch) を利用する放線菌は HA 層と A_1 層の双方で細菌数よりも多かった。デンプンを利用する細菌数はセルロースを分解する細菌よりも少なく，HA 層より A_1 層で多かった。デンプンを利用する糸状菌は HA 層で多く A_1 層で少なかった。

キチン (Chitin) を分解する放線菌は HA 層と A_1 層でともに多く，糸状菌と細菌は HA 層より A_1 層で多かった。糸状菌の遺体，動物の遺骸などのキチンは主として放線菌によって分解されていると思われる。

有機態窒素，カゼイン加水分解物 (Casein hydrolysate) を利用する細菌数は HA 層と A_1 層でともに多く，放線菌数と糸状菌数は少なかった。

アンモニア態窒素 (NH_4) を利用する糸状菌，細菌，放線菌はいずれも HA 層と A_1 層でともに少なかった。

一方，硝酸態窒素 (NO_3) を利用する細菌は HA 層で多く，A_1 層で減少し，放線菌や糸状菌にも同様の傾向が見られた。亜硝酸態窒素 (NO_2) を利用するものは HA 層には見られず，A_1 層にのみ出現した。

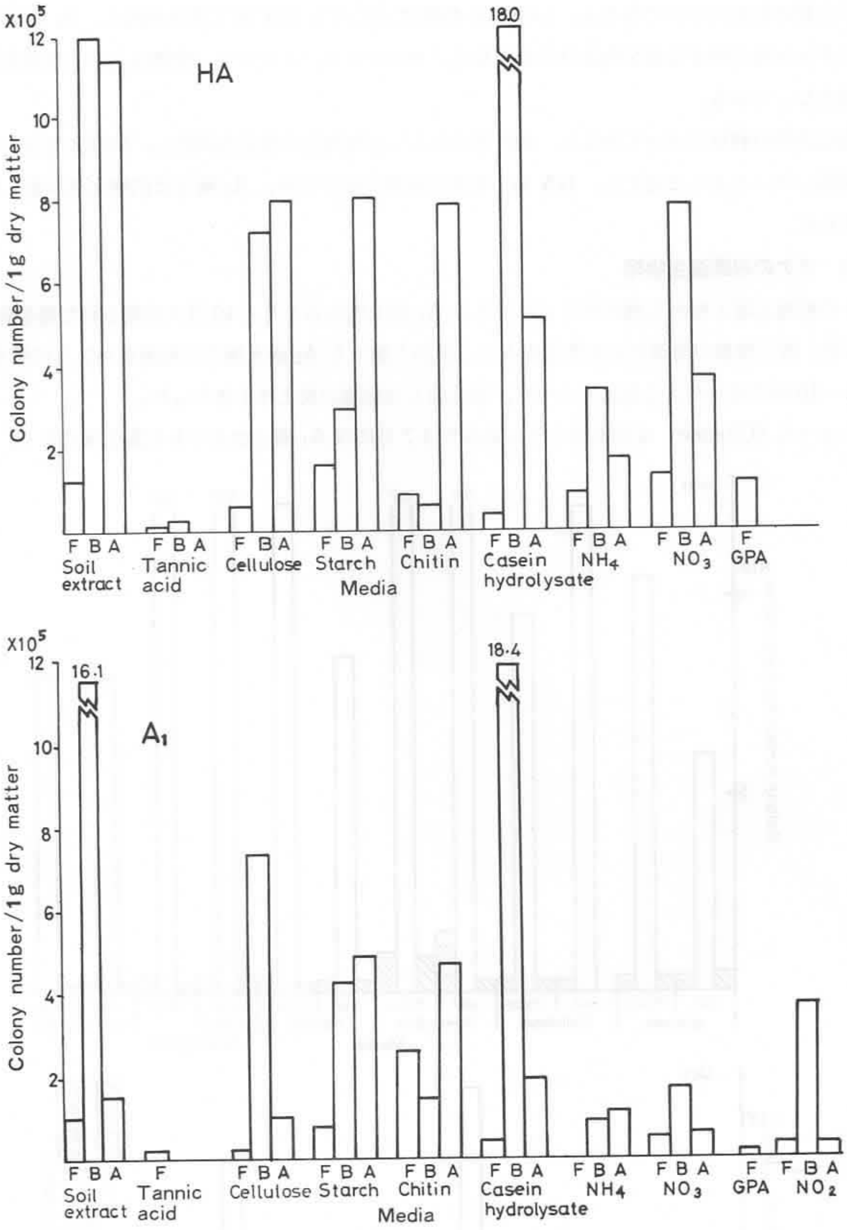


Fig. 6 Soil microorganisms with different characters in the surface soil. Soil samples were collected from HA and A_1 horizons of soil profile in Oct. 1973. Soil microorganisms were isolated by dilution plate method on the media as following : The basal medium used in the experiment was 10.0 g glucose, 2.0 g NH_4NO_3, 1.0 g KH_2PO_4, 0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5 g Peptone, 0.5 g Yeast extract, 20.0 g agar. Glucose was exchanged with 5.0 g cellulose, 1.0 g tannic acid, 10.0 g starch or 5.0 g chitin. NH_4NO_3 was exchanged with $(NH_4)_2SO_4$, 2.0 g $NaNO_2$, 2.0 g $NaNO_3$ or 2.0 g casein hydrolysates and 0.5 g peptone was removed. pH was adjusted by 1 N HCl or 1 N NaOH solution.

炭水化物の利用についてみると，いずれの物質に対してもHA層で活性が高く，A_1層で低下していた。リグニンを分解する微生物はほとんどなく，セルロース，デンプン，糖類などが土壌微生物の主要な炭素源となっている。

窒素化合物の利用についてみると，糸状菌は主として無機態の窒素を利用し，細菌は蛋白質やアミノ酸類を利用しているように見える。HA層で窒素の無機化がすすみ，A_1層では硝酸化成が盛んなように見うけられる。

5) ブナの根圏微生物相

ブナの根圏土壌と根から離れたところにあるA_1層土壌から7月と10月に分離された微生物群をFig. 7に示す。微生物数の季節による変化をみると根圏土壌でもA_1層土壌でも細菌数が7月に多く，10月のほぼ2～10倍に達した。これにくらべて，糸状菌と放線菌の変化は小さかった。

グルコース (Glucose) を炭素源とする細菌数は7月にはA_1層土壌よりも根圏土壌に多く，10月にな

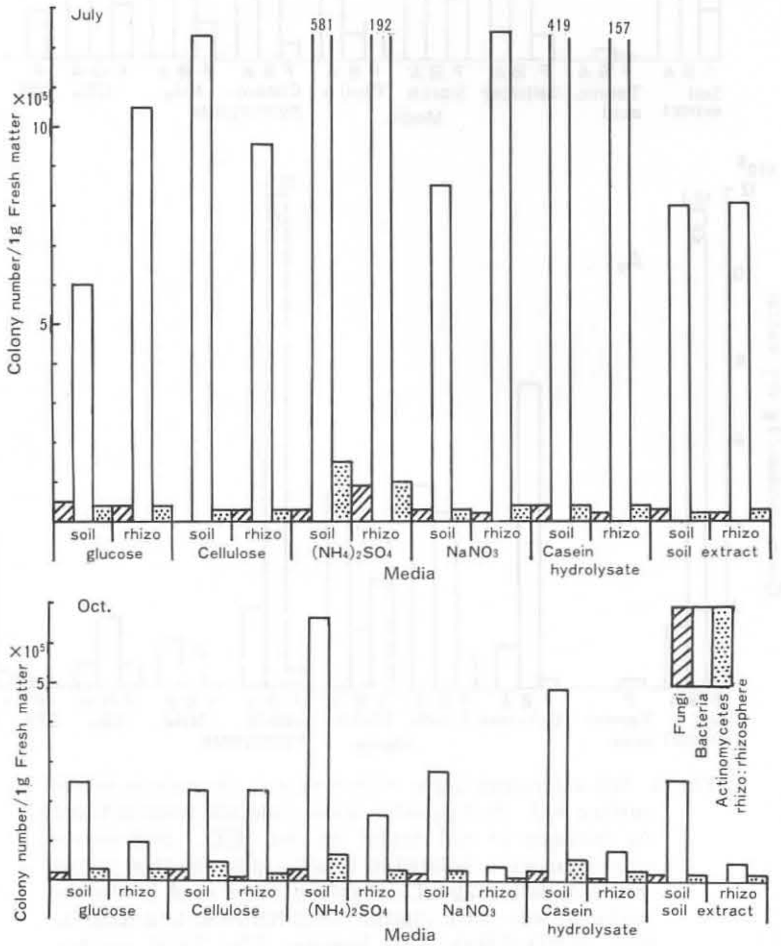


Fig. 7 Microorganisms in the rhizosphere of *Fagus crenata*.
The tree roots and soil samples were collected from HA horizon on July 29 and Oct. 20 in 1974. Rhizosphere microorganisms were isolated by dilution plate method after the washing of roots with sterilized water. The media used were the same as described in Fig. 6.

ると，菌数が減少して逆転した。糸状菌や放線菌には大きなちがいがなく，秋には減少した。

セルロース（Cellulose）を分解する細菌数は A_1 層土壌と根圏土壌でさほどかわらず，7月に多く，10月に減少した。糸状菌数は7月に根圏土壌に多く，10月には A_1 層土壌で増加した。放線菌には顕著な動きがなかった。

アンモニア態窒素（$(NH_4)_2SO_4$）を利用する細菌数は7月には A_1 層土壌に多く，根圏土壌の約3倍となり，この傾向は10月までつづいた。糸状菌数は7月には根圏土壌で多く，10月には逆転した。放線菌数は7月には双方で多く，10月にも同様の傾向が見られた。

硝酸態窒素（$NaNO_3$）を利用する細菌数は7月には根圏土壌に多く，10月には逆転した。糸状菌や放線菌のうごきはわずかであった。

有機態窒素，カゼイン加水分解物（Casein hydrolysate）を利用する細菌，糸状菌，放線菌数の変化はほぼアンモニア態窒素を利用するものと同じ傾向を示した。

土壌煎汁培地で分離されたものの出現傾向はグルコースや硝酸態窒素をベースとした培地で分離した場合に類似していた。根からの物質の分泌や根の生長にともなう老廃物の生産，水分環境の変化などによって根圏の微生物相ははげしく変化しているものと思われる。

考　　察

1）堆 積 腐 植

ブナ・イヌブナ林の堆積腐植の分布状態はスギやヒノキ人工林の場合にくらべて，下層植生が豊富なために一様になりにくい。また，ブナの落葉はダケカンバやコナラなどと異なり，落葉直後に A_0 層から上昇してくる菌糸束にとらえられる[8]ことが少なく，乾燥すると巻く性質がある。このために落葉が移動しやすく，微地形や林床植生の状態によって堆積腐植，A_0 層の分布が不均一になりがちである。この不均一な分布の結果，細根や A_0 層とその直下に生息する土壌生物の分布も変化しやすくなる。

堆積腐植を構成する落葉などの有機物を粒径によってふるいわけしてみると，この林分の分解型はダケカンバ林[8]など，落葉広葉樹林[11]に共通するパターンを示した。新鮮落葉と分解葉が多く，細片化した粗腐植や腐植の集積が少ないパターンとなり，ヒノキ林の場合[15]とまったく異なる分解型となった。季節による A_0 層の厚さや量の変化は落葉時期が秋であるためにかなり大きかったが，堆積腐植の組成に大きな変化はなかった。季節によってF層やHA層が消えるというような現象はなく，F層以下での分解速度は1年を通じて安定しているように思われた。この林分の表層土壌では土壌動物の活動も盛んであり[7]，堆積腐植はモダー型である。

ブナなどの落葉分解には斎藤[13]も指摘しているように明らかな白色腐朽と褐色腐朽とが認められる。この白色腐朽はカヤタケといくつかの *Collybia* 属の帽菌類によって行われており，そのいずれもが大形の円形のシロないしはコロニーを形成する。褐色腐朽をする帽菌類が認められないことから，褐色腐朽は斎藤[14]のいうように糸状菌と細菌とによって進むものと思われる。ヒノキの落葉分解には白色腐朽がまれで，帽菌類の発生も少なく，この点でもブナとヒノキの落葉分解過程の相違が明らかである。

2）菌　　　根

ヒノキやスギがその細根に菌を共生させて内生菌根を形成しているのと異なり，ブナやイヌブナは担子菌類とくにきのこ類と共生して外生菌根を形成する。この点でもヒノキ林やスギ林とはまったく異なる菌

類相をもっているといえる。

ブナやイヌブナの細根は A_0 層が厚いと A_0 層の中に上昇し，MEYER[6] が報告したようにモダーやモル型の堆積腐植では F 層で菌根の形成が盛んである。根の全量に対する菌根率は約20% と低かったが，若い細根に対する菌根の占める率は MEYER[6] の測定結果と同様，F 層では80% 近くになるものと思われる。

F 層で菌根量が増加するのはこの層に菌糸層を広げて生息し，外生菌根を形成する *Cortinarius* 属の菌や F 層から HA 層にかけて菌糸束をつくって広がり，外生菌根を形成する *Russula* 属の菌が多いためである。これに反して，A_1 層以下の鉱質土層に菌糸層をつくる菌根菌がほとんどなく，菌糸束をつくるものも少なくなるので，鉱質土層の菌根量が減少する。これはアカマツ林などの場合[9] と大きく異なるところである。一般にこの B_D 型土壌のように湿潤で土壌有機物にとむ土壌では A_0 層から A_1 層にかけて菌糸束や根状菌糸束をつくって生息する菌根菌が増加し，鉱質土層に生息する菌が減少する。根状菌糸束をつくる菌根菌が形成する菌根はまばらに分布するので，菌根の土壌中での分布は一様になりやすい。

3) 高等菌類相

1973年のみの調査結果ではあるが，発生した菌の種数は44種とかなり多く，腐生菌と菌根菌の比率がほぼ1:1となった。このような菌類の出現傾向は広葉樹林の例[8] とにており，クロマツ林[10] やアカマツ林[9] など針葉樹林の例とは異なっている。菌根菌の属構成が単純で *Cortinarius, Russula, Amanita, Lactarius* などの属で代表されるのが特徴的である。この特徴は他の広葉樹林にも共通する[11]。スギ，ヒノキ林など内生菌根樹種の森林とは全く異質な菌類相を示す。

高等菌類の発生位置をみると，生活型の異なる菌のシロが互いに重なりあうことなく分布しており，一種のすみわけが認められる。F 層に生息する落葉分解菌のカヤタケと菌根菌の *Cortinarius* との間にはその生活型が異なっても生息位置のうばい合いによる競争関係が認められる。このような現象は多くの森林についてすでに認められていることである[9][10]。林床における菌のシロまたは菌糸束はたえず移動しており，おそらく，時間とともに優占する菌の種類や量，ひいては種組成も変化することと思われる。

4) 土壌微生物

土壌微生物の水平分布についてみると，A_1 層の土壌では高等菌類のシロがないために，分布がほぼ均一となる。糸状菌の場合は細菌や放線菌と異なり，不均一に分布する傾向があった。全般にヒノキ林にくらべて細菌の比率が高い傾向が見られた。

垂直分布をみると，糸状菌，細菌，放線菌がそれぞれ固有の分布パターンを示している。A_0 層では糸状菌が落葉分解の進行につれてふえ，細菌は逆に減少し，放線菌は一定の傾向を示さなかった。このことは F 層で担子菌がふえることとあわせて，難分解物が主として菌によって分解されること，細菌は易分解性のものを利用しやすいことを示している。また，斎藤[41]がいうように落葉分解にともなって分解微生物群が交替することも明らかである。

細菌は A_0 層から鉱質土層へかけて有機物の浸透や根の量などに応じて連続的に分布するが，糸状菌は A_0 層に多く，鉱質土層で急減する不連続な分布を示す。このことは通常の方法で分離される糸状菌の多くが A_0 層で有機物の分解に関与しているものであることをうかがわせる。一方，放線菌の分布は変化に乏しく，落葉分解にもほとんど無関係のように思われる。水平，垂直分布はともにヒノキ林のものより変化が大きく現われている。

表層土壌に生息する微生物の機能についてみると，ヒノキ林ではリグニン分解微生物が少なかったのにくらべて[15]，ここでは細菌や放線菌の中にもわずかにこの能力を持ったものが出現した。ブナの落葉がきのこ類によって分解されると脱リグニンが進み，セルロースや糖類が増加することが知られている[13]。HA 層でセルロース，デンプン，糖などを利用する微生物が増加しており，F 層でのリグニン分解がよく進んでいることをうかがわせる。

窒素化合物の分解利用についても細菌による有機態窒素の分解が盛んで，A_0 層から HA 層にかけてアンモニア化成が進んでいると思われる。HA 層から A_1 層にかけて無機態窒素を利用するものが増加し，A_1 層で亜硝酸窒素を利用するものが多くなることから，HA 層と A_1 層で硝酸化成作用が進んでいるように思われる。無機態窒素を利用するものはヒノキ林にくらべて少なく[15]，硝酸化成の活発な動きを思わせる変化もここでは少なかった。

根圏土壌と A_1 層土壌の微生物群を比較すると，その数は夏と秋で大きく変動した。中でも根圏土壌の微生物の動きははげしく，これは根の生長と脱落，菌根の形成と消失などによるものと思われる。根圏における種々の窒素化合物を利用する微生物群の動きについてはさらに検討する必要があるが，ヒノキにくらべて硝酸態窒素を利用する細菌が多いなど，ブナに特異的な現象も認められる。おそらく，菌根菌による有機態やアンモニア態窒素の吸収と代謝が根面や根圏で盛んに行われていることともつながりがあると思われる。

以上述べたようにブナ・イヌブナ林の高等菌類相と微生物相は同一地域の同一土壌に成林しているヒノキ人工林のものと全くといえるほどに異なっている。ブナ・イヌブナ林の高等菌類相は種類も豊富で量も多く，ヒノキ林と共通する点がない。これは菌根菌のちがいだけでなく，落葉分解菌のちがいにもよっている。

土壌微生物についても HA 層や A_0 層などの表層についてはヒノキ林とブナ・イヌブナ林の差は大きく，微生物相が全く異なるといえるほどである。ただ，A_1，A_2，B 層などの鉱質土層における微生物の出現のしかたは両林分で共通した特徴を示しており，糸状菌についてみるかぎり，種組成にも大きな変化はないように見られた。微生物の種組成についての詳細な検討を必要とするが，ヒノキ人工林の鉱質土層にはまだ広葉樹天然林の頃の微生物相が残存しているように思われる。

広葉樹天然林の伐採跡地に造林された前報[15]のヒノキ人工林の土壌生態系は 45 年のうちに鉱質土層の土壌微生物相を除いてほぼ完全に変質し，広葉樹林的要素を失ったように思われる。このような土壌微生物相など土壌生態系を構成する要素の変質がどのような過程をたどって進行するのか，また，ヒノキ人工林の伐採後に天然状態にもどりうるか否か，それに要する時間と回復手段など検討を要する課題が数多くあるように思われる。ヒノキ人工林面積が増加し，その 2 代目，3 代目林が造成されてゆくにつれて，ヒノキ林土壌が天然状態に回復しえない不可逆的な状態に近づいてゆくことが予想される。生物相の豊富な広葉樹林やアカマツ林にかわって生物相の単純なヒノキやスギの人工林が拡大している事実はとりもなおさず，わが国の大部分を占める森林の生物相を大規模に恒常的に人間が改変していることを意味している。用材生産を目的とする人工林の拡大にあたっては長期的な展望にたった周辺生態系の変化とその許容限界に関する配慮が必要になると考えられる。

引 用 文 献

1) CALDWELL, R. : Observation on the fungal flora of decomposing beech litter in soil. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46(2) : 249～261, (1963)

2) CARRE, C. G. : Fungus decomposition of beech cupules. Trans. Brit. Mycol. Soc. 47(3) : 437～444, (1964)

3) 石塚和裕：落葉分解と土壌，ペドロジスト，24(1)：29～40，(1980)

4) 河原輝彦ら：ブナ天然林とヒノキ人工林の物質生産とその循環，日生態誌，29：387～395，(1979)

5) MEYER, F. H. : Vergleich des Mikrobiellen Abbaus von Fichten -und Buchenstreu auf Verschiedenen Bodentypen. Archiv. Mikrobiol. 35 : 340～360, (1960)

6) MEYER, F. H. : Die Mykorrhiza Ausbildung an Buche und Fichte in Mull, Moder und Rohhumus. Mykorrhiza Inter. Mykor. Sympo. Weimar : 285～295, (1960)

7) 農林水産技術会議事務局：表日本型ブナ天然林及びヒノキ人工林における実態解析「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書（第1集）：6～97，(1979)

8) OGAWA, M. : Ecology of higher fungi in *Tsuga diversifolia* and *Betula ermani—Abies mariesii* forests of subalpine zone. Trans. Mycol. Soc. Japan, 18 : 1～19, (1977)

9) 小川 眞：アカマツ林における菌根菌―マツタケ―の微生物生態学的研究，IV，菌類社会におけるマツタケのシロ，林試研報，297：59～104，(1977)

10) ――――：海岸砂丘クロマツ林における微生物相，林試研報，305：107～124，(1979)

11) ――――：菌を通して森を見る，創文，(1980)

12) 大政正隆・河田 弘・河田明子：森林土壌微生物に関する研究，土壌型と微生物群落との関係，林試研報，95：1～70，(1957)

13) SAITO, T. : An approach to the mechanism of microbial decomposition of beech litter. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. IV (Biol.) 26 : 125～131, (1960)

14) SAITO, T. : Sequential pattern of decomposition of beech litter with special reference to microbial succession. Ecol. Rev. 16 : 245～254, (1966)

15) 山家義人・小川 眞・石塚和裕：ヒノキ人工林の堆積腐植の分解と微生物相，林試研報，313，161～174，(1981)

Fungal and Soil Microbial Florae in the Natural Stand of *Fagus crenata* and *F. japonica*

Makoto OGAWA[1], Yoshito YAMBE[2] and Kazuhiro ISHIZUKA[3]

Summary

Fungal and soil microbial florae and litter decomposition were investigated in a natural stand of *Fagus crenata* and *Fagus japonica* forest in Tochigi Pref. The thickness of the A_0 layer was estimated at points with 2 m intervals in a quadrate settled in the stand. The distribution of the A_0 layer was not uniform depending on the microtopography and the distribution of understory vegetation like bamboo shrubs and grasses. Litter was collected by a 50×50 cm square frame according to the thickness of the A_0 layer in the quadrate and divided in to several fractions with sieves of 5, 10, 20 and 32 mesh in June and November. Litter decomposing patterns were figured by the percentages of each fraction to the total weight of litter. The patterns were the same without distinction of the thickness of the A_0 layer and seasons. It seems that the decomposition of litter in this stand has been progressing normally compared with that in the *Chamaecyparis obtusa* stand previously reported[15]. The patterns were common to those of other deciduous leaved trees.

Concerning the litter decomposing processes, two distinct processes were recognized : white rot and brown rot. The white rot process was led by some hymenomycetes like *Clitocybe infundibuliformis* and *Collybia* spp. which formed the larger colonies, Shiro, from the F layer to the L layer. In this stand, white rot areas covered most of the forest floor. On the other hand, brown rot which was led by filamentous fungi and bacteria was distributed irregularly.

Fine roots and mycorrhizae of the *Fagus* species were collected by the same frames used for litter according to each soil horizon and extracted from the litter by washing. The distribution of fine roots and mycorrhizae varied with the thickness of the A_0 layer. These amounts increased in the F layer at the points with a thick A_0 layer. The mycorrhizae of the *Fagus* species were distributed mainly from the F to the HA layer because of the abundance of the mycorrhizal fungi which inhabited the A_0 layer. The amount in mineral soil horizons decreased.

Higher fungi occurring in the stand were collected from the 168 m^2 quadrate in 1973, and the positions of occurrence were marked. The total of species number of higher fungi was 44 including 23 species of saprophytes and 21 species of mycorrhizal fungi. The total number of fruit-bodies was 625, and the total weight of them 33.06 g/168 m^2. *Mycena* spp. and *Clitocybe infundibuliformis* were dominant among litter decomposers, and *Cortinarius* spp. and *Russula* spp. among mycorrhizal fungi. Competition among the fungal colonies with the same or different life types was recognized.

Soil microorganisms were isolated by the dilution plate method on the soil extract and glucose pepton with rose bengal media. Horizontal distributions of soil microorganisms except for soil fungi were comparatively uniform in the A_1 horizon. In the A_0 layer, bacteria which

---

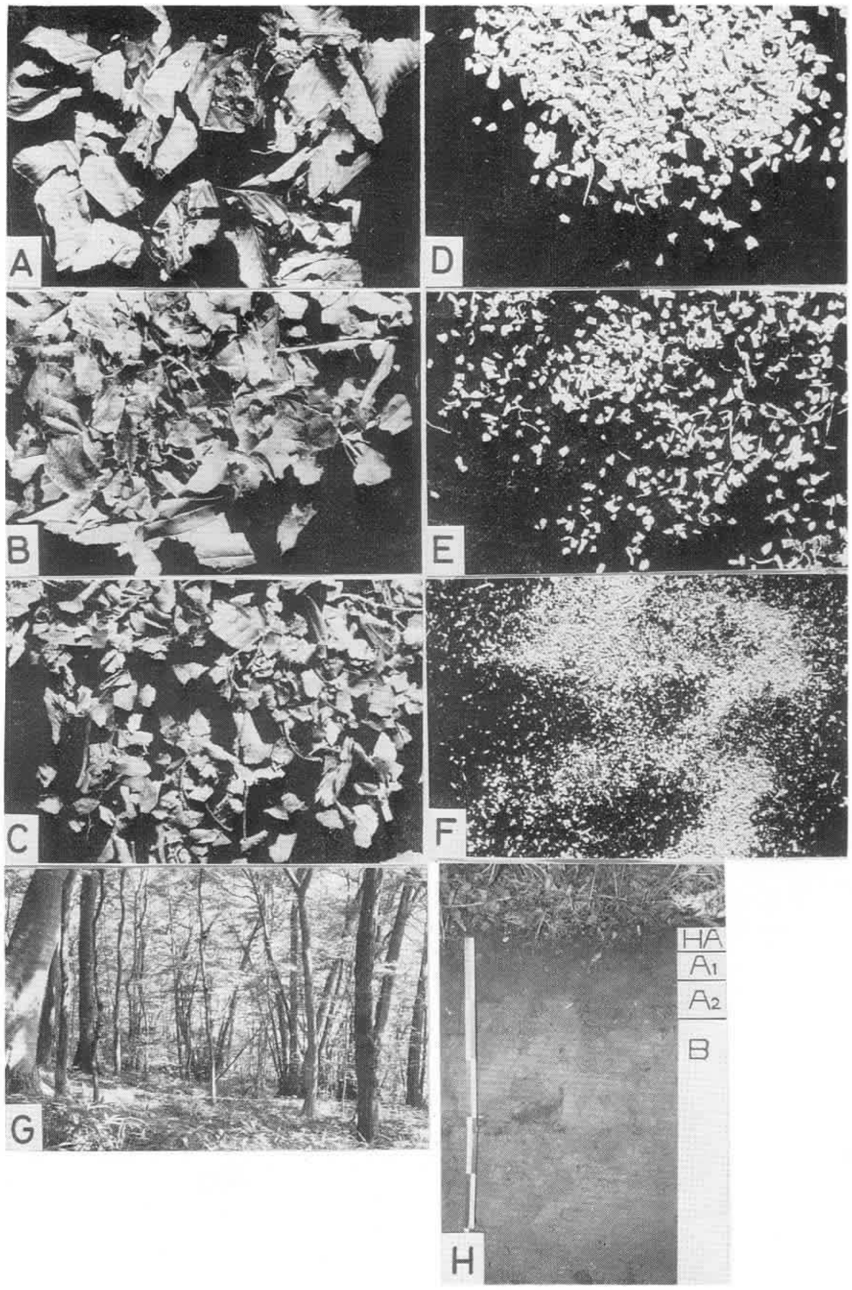
Received December 2, 1980

(1) (2) (3) Forest Soil Division

was dominant in the fresh leaves decreased in the decomposed leaves in which the fungal population became higher. It was certain that there was the alternation of decomposers according to the progress of litter decomposition. In mineral soil horizons, bacteria and actinomycetes were distributed continuously from the A_0 layer to the mineral soil depending on the depth of the soil. However the distribution of soil fungi was not continuous, and the fungal population decreased abruptly in mineral soil horizons.

The functions of soil microorganisms inhabiting the HA and A_1 horizons were investigated by the dilution plate method on the media with different carbon and nitrogen sources as the substrates. Some lignin decomposers were isolated in both horizons, and the number was higher than that in the *C. obtusa* stand. Lignin decomposition in the *Fagus* stand had progressed more rapidly than that in *C. obtusa* stand due to the high activity of soil microorganisms and some higher fungi. Microorganisms which utilize cellulose, starch and glucose increased in the HA horizon because of the active lignin decomposition in the A_0 layer. Soil bacteria which utilize organic nitrogen compound increased in the HA horizon, and nitrate utilizing bacteria in the A_1 horizon. It seems from these results that the ammonification progresses in the A_0 and HA horizons and nitrification in the HA and A_1 horizons. The number of microorganisms utilizing inorganic nitrogen compounds was less than that in the *C. obtusa* stand. The microbial number of rhizosphere of *Fagus* and mineral soil varied seasonally. Especially, the bacterial number in rhizosphere increased in summer.

The fungal and soil microbial florae in the *Fagus* forest were completely different from those in the *C. obtusa* stand which was established in the same area under similar climatic and soil conditions. The *C. obtusa* stand which was planted after the cutting of the deciduous broad leaved forest has lost the microbial features of the previous deciduous forest. It seems that such changes of microbial florae are so great and irreversible that it may not recover to the original state artificially.



A : Fallen leaves of *Fagus* in October.
B : Fragmented brown leaves in F layer.
C : Fragments of decomposed leaves in F layer.
D : Organic matters in HA horizon including the fragments of root, bark and wood.
E, F : Organic matters in HA horizon, mixing with mineral soil.
G : *Fagus crenata*-*Fagus japonica* forest, most of forest floor were covered by bamboo shrubs and weeds.
H : Soil profile in *Fagus* forest.